

Az agrotechnikai tényezők hatása az ureáz enzim aktivitására egy trágyázási tartamkísérletben

Horváth Judit–Mátyás Bence–Kátai János

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Agrokémiai és Talajtani Intézet, Debrecen
horvath.judit@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj egy megújítható természeti erőforrásunk, termékenységének megőrzése a fenntartható fejlődés fontos eszköze. Nyomon kell követnünk a szerves nitrogén tartalmú anyagok átalakulási dinamikáját és az ásványi tápanyag utánpótlás hatásait, hogy pontos információkat kapjunk a nitrogén körforgalom talajban lejátszódó változásairól.

A talaj szerves anyagainak átalakulását – a szerves anyag összetételén kívül – a talajok fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint a talajban élő aktív szervezetek is befolyásolják. Ebben a lebontási folyamatban az extracelluláris enzimek széles sora vesz részt. Ezek az enzimek segítenek a makromolekulák alacsony molekulatömegű vegyületekké történő átalakításában is, így elérhetővé válnak a mikrobiális asszimiláció során.

Az ureáz enzim katalizálja az urea hidrolízisét szén-dioxidra és ammóniára. Széles körben elterjedt a természetben, előfordul mikroorganizmusokban, növényekben, állatokban.

Megállapítottuk, hogy az ureáz enzim mennyiségét befolyásolja a talaj nedvességtartalma tavasszal, valamint a vetésváltás és a trágyázás is. Továbbá szignifikáns különbséget tapasztaltunk az öntözött és öntözetlen kultúrák között az év második felében. Eredményeinkből kitűnik, hogy az ureáz enzim aktivitása a tavaszi periódusban magasabb volt a 2014-es év során.

Dolgozatunk célkitűzése volt, hogy bemutassuk, miként befolyásolják a különböző agrotechnikai tényezők az ureáz enzim aktivitását a talajban egy trágyázási tartamkísérletben.

Kulcsszavak: talaj, ureáz aktivitás, műtrágyázás, vetésváltás, öntözés

SUMMARY

The soil is a natural resource, the fertility preservation is an important part of the sustainable development. We have to monitor the transformation dynamics of the organic nitrogen-containing substances, to get accurate information about the changes of the nitrogen cycle in the soil.

Physical and chemical properties of the soil and the microorganism effect on the organic matter in the soil – in addition to the composition of organic matter. Wide variety of extracellular enzymes are present in this decomposition. These enzymes help in the transformation of the macromolecules to transforming low molecular weight compounds so they will be available during the assimilation.

The urease enzyme, catalyzes the hydrolysis of urea to CO_2 and NH_3 . The urease is widely spread in the nature, it is present in the microorganisms, plants and animals.

We found that the soil moisture content, the rotation and the fertilization affect to the amount of urease in spring. Furthermore, we get significant difference between the irrigated and non irrigated samples in the second period of the year. Based on our results we can state that the activity of urease was higher in spring 2014.

The objective of our study was to present how the different agronomic factors affect on the activity of urease in a long term fertilization experiment.

Keywords: soil, urease activity, fertilization, crop rotation, irrigation

BEVEZETÉS

Az egyik legjelentősebb megújítható természeti erőforrásunk a talaj, ezért termékenységének megőrzése a fenntartható fejlődés fontos eszköze. Nyomon kell követnünk a szerves nitrogén tartalmú anyagok átalakulási dinamikáját, valamint az ásványi tápanyag-utánpótlás hatásait, hogy pontos információkat kapjunk a talajban lejátszódó változásokról (Németh 2005).

Az ásványi tápanyagok természetes módon történő feltáródása napjainkban már nem elegendő, a tápanyagot pótolnunk kell, így a talajaink termékenységét a tápanyag utánpótlás határozza meg (Kádár 2010). A trágyázás célja, hogy megszüntessük a tápanyaghiányt és megőrizzük a talaj termékenységét (Kádár 2005).

A pontosan megállapított N-szükséglet a környezetkímélő trágyázás alapja (Berényi et al. 2009), mivel a túlzott mennyiségben kijuttatott műtrágya, annak

nem okszerű használata károsan befolyásolhatja a környezetet, leginkább intenzív gazdálkodáskor (Németh és Buzás 1991, Ruzsányi 1992, Sárvári 1995).

Huzsvai és Nagy (2003), valamint Márton (2005) megállapították, hogy öntözés során a műtrágyák jobban hasznosulnak, tehát az öntözés fontos agrotechnikai eljárás a termésbiztonság és a termésminőség szempontjából. Az öntözéssel serkenteni lehet a talajban élő mikroorganizmusok aktivitását nagyobb műtrágya dózisok alkalmazásakor (Kátai 2005).

Számos kutató megállapította, hogy a talajnedvesség kiemelkedő fontosságú a talaj termékenység szempontjából, amelynek hiánya öntözéssel pótolható (Filep 1999, Iványi et al. 2003, Sárvári 2000, Sárvári et al. 2006).

A vetésváltás szintén fontos agrotechnikai eljárás a fenntartható növénytermesztés során, amely részben hozzájárul a tápanyagellátáshoz, valamint külső ener-

gia befektetés nélkül terméstoppletet eredményezhet (Kismányoky 2010). Pepó (2010) a kukorica termesztése során 23%-os termésmennyiség növekedést is tapasztalt a vetésforgók alkalmazásával.

A talajban élő mikroorganizmusok fontos szerepet töltenek be a szerves anyagok biokémiai átalakulásában, amely során megvalósul a tápanyagok ásványosodása (Jackson et al. 2012). A szerves anyagok lebontása a talajban számos extracelluláris enzim közreműködésével történik, melyeket gombák és baktériumok állítanak elő (Baldrian 2014).

A talaj szerves anyagának mennyisége és minősége a legfontosabbak a talaj mikrobiális biomassza mennyiségének és aktivitásának szempontjából (Fierer et al. 2006, Kallenbach és Grandy 2011). A szerves anyag átalakulása függ a talajban előforduló mikroorganizmusoktól. Ebben a folyamatban az extracelluláris enzimek széles sora vesz részt, ezek lebontják a biopolimereket tartalmazó növényi és mikrobiális sejtfalakat. Ezek az enzimek segítenek a makromolekulák alacsony molekulatömegű vegyületekké történő átalakításában is, így elérhetővé válnak a mikrobiális asszimilációhoz (Burns és Dick 2002).

A tápanyag-gazdálkodás hatással van a talajban élő mikroorganizmusokra, valamint az abiotikus talajtulajdonságokra (Steenwerth et al. 2006, Lauber et al. 2008, Millard és Singh 2010, Dao 2014).

A talaj enzimaktivitása különböző tényezőktől függ, mint például a szubsztrát, a rendelkezésre álló oxigén mennyisége, a talaj nedvességtartalma, hőmérséklete, a talaj szerkezete és a humuszanyagok jelenléte (Linn és Doran 1984, Wallenstein és Weintraab 2008, Ruamps et al. 2011, Baldrian 2014).

Az ureáz enzim katalizálja az urea hidrolízisét szén-dioxidra és ammóniára. Széles körben elterjedt a természetben, előfordul mikroorganizmusokban, növényekben, állatokban (Page 1982). Ez az enzim már általánosan használt számos területen, például a mezőgazdaságban (De Muynck et al. 2010). Wu et al. (2009) megfigyelték néhány enzim aktivitását és az ureáz teljesen ellenkezőképpen reagált, mint a kutatók által vizsgált más enzimek. Negatív kapcsolatban volt a talaj összes nitrogén tartalmával, a szerves szén mennyiségével és a kicserélhető káliummal, míg pozitív kapcsolatot figyelhetek meg a talaj kicserélhető kalcium tartalmával.

Kátai (2006) megállapította, hogy a műtrágyázás jelentősen növelte az ureáz enzim aktivitását mono- és trikulturában, öntözött körülmények között, trikulturában magasabb eredményeket tapasztalt, mint monokulturában.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A tartamkísérlet beállítására – Debrecenről 15 km-re, Látóképen – 30 évvel ezelőtt került sor mészeledékes csernozjom talajon. A vizsgálatainkat kukorica mono-, kukorica-búza bi-, valamint kukorica-búza-borsó trikulturában, öntözetlen és öntözött körülmények között végeztük. Vizsgáltuk a kezelések hatását a talaj ureáz enzim aktivitására különböző adagú trágyakezelések mellett [1: kontroll (0), 2: kis ($N_{60} P_{45} K_{45}$), 3: közepes ($N_{120} P_{90} K_{90}$), 4: közepes nagy ($N_{180} P_{135} K_{135}$), 5: nagy ($N_{240} P_{180} K_{180}$) dózis]. A műtrágyát

2013. október 5-én, 2014. április 7-én és 2014. október 15-én juttatták ki.

A nedvességtartalmat a talaj 24 órás, 105 °C-on történő szárításával határoztuk meg (Klimes–Szminck 1962). Az ureáz enzim aktivitás meghatározása Kempers (1974) módszere szerint történt. A mintákat 2014. május 23-án és 2014. október 31-én a talaj felső 20 cm-es rétegéből vettük.

Az eredmények statisztikai elemzéséhez háromtényezős varianciaanalízist alkalmaztunk SPSS 13.0 for Windows és Microsoft Office Excel 2007 programok használatával.

A vizsgált mészeledékes csernozjom talaj fontosabb tulajdonságait az 1. táblázat tartalmazza. A kísérleti terület talajának textúrája vályog. Humusztartalom alapján humuszban közepesen ellátott, termőrétege közepes vastagságú. Kémhatása gyengén savanyú, közel semleges.

1. táblázat

A vizsgált talaj fontosabb tulajdonságai

Leiszapolható rész(1)	47,48%
Higroszkóposság (hy)(2)	2,00
Arany-féle kötöttségi szám (K_A)(3)	40
Fizikai talajféleség(4)	vályog(10)
Minimális vízkapacitás ($V_{K_{min}}$)(5)	26,22
Humusztartalom(6)	2,81%
Termőréteg(7)	80–90 cm
pH(H_2O)(8)	6,8
pH(KCl)(9)	6,1

Forrás: Kátai (1999)

Table 1: The main properties of the soil

Slit and clay fraction(1), Hygroscopicity(2), Plasticity index according to Arany(3), Soil texture(4), Minimal water capacity(5), Humus content(6), Topsoil(7), pH in distilled water(8), pH in KCl(9), Loam(10), Source: Kátai (1999)

Az 1. ábra adataiból kitűnik, hogy 2014-ben a tél és a tavasz csapadékban szegény volt (193,4 mm), míg az év második felében kétszer annyi csapadék hullott (415,8 mm), mint az elsőben, a legcsapadékosabb hónapnak júliust tekinthetjük. Az általunk vizsgált évben összesen 609,2 mm csapadék jutott a talajra, ami ezen a területen átlagosnak tekinthető. Megállapítható, hogy a tavaszi mintavétel előtt alig, míg az őszi mintavétel előtt nagy mennyiségű csapadék jutott a mintavételi területre.

1. ábra: A kísérleti területre hullott csapadék mennyisége (mm) (Debrecen – Látóképe, 2014)

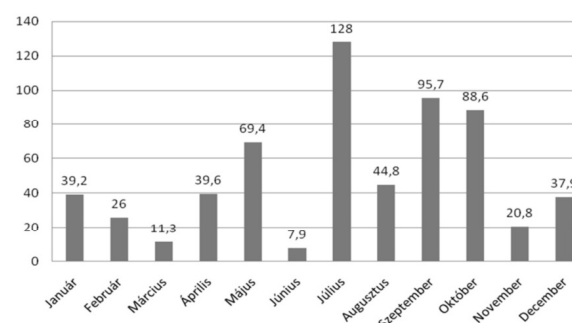


Figure 1: The amount of precipitation on the filed experiment (mm) (Debrecen – Látóképe, 2014)

EREDMÉNYEK

A 2. ábrán bemutatjuk a talaj nedvességtartalmának évszakos változását. Eredményeinkben megmutatkozik az év második felében lehullott nagy mennyiségű csapadék hatása. Tavasszal a talaj nedvességtartalma 18–20% között változott, míg az őszi időszakban 22–26%-os értékeket mértünk.

Összehasonlítottuk a 2014-es év őszi és tavaszi ureáz enzim aktivitását (3. ábra). A bikultúra öntözetlen parcelláját kivéve, minden alkalommal magasabb értékeket kaptunk a tavaszi minták elemzése során, mint az őszi mintáknál. Azt is megállapíthatjuk, hogy monokultúrában öntözetlen körülmények között a 4. trágyakezelésnél tavasszal a legalacsonyabb, míg ősszel a

legmagasabb értéket mértük. Az öntözött területen tendenciájában ugyanolyan eredményeket kaptunk. Bikultúra öntözetlen parcelláiban tapasztalt értékek tavaszi és őszi eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy a kontroll és a kis dózis esetén a tavaszi, a közepes dózis esetén azonos, a nagyobb dózisok mellett pedig az őszi értékek magasabbak, míg öntözött körülmények között a két évszak értékei tendenciájukban megegyeznek. Tri kultúrában a tavaszi és az őszi eredményeket értékelve kijelenthetjük, hogy szinte minden kezelésben az ureáz enzim aktivitás magasabbnak bizonyult a tavaszi aspektusban, kivéve az 5. trágyakezelés, öntözött körülmények között, melynél a tavaszi mintavétel során a legmagasabb eredményt kaptuk, míg ősszel itt alacsonyabb értéket tapasztaltuk.

2. ábra: A talaj nedvességtartalmának összehasonlítása tavasszal és ősszel (%) (2014)

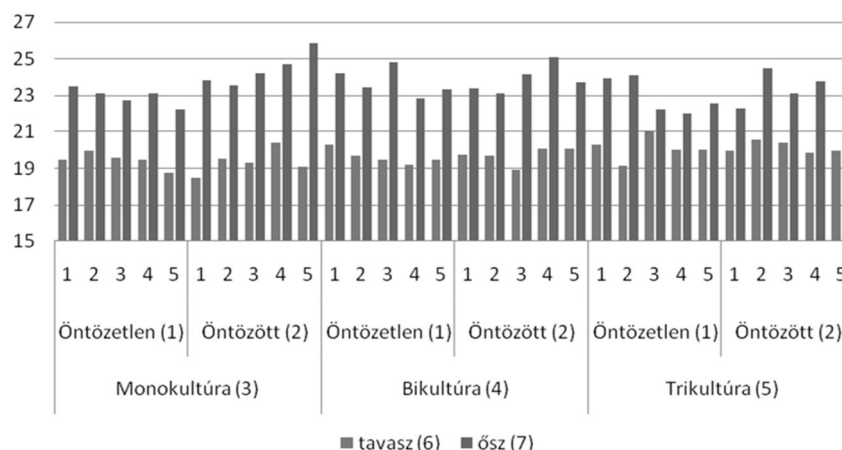


Figure 2: Comparison of the soil moisture content in spring and autumn (%) (2014)
Non irrigated(1), Irrigated(2), Monoculture(3), Biculture(4), Triculture(5), Spring(6), Autumn(7)

3. ábra: Az ureáz enzim aktivitás (NH_4^+ mg/100 g) évszakos összehasonlítása 2014-ben

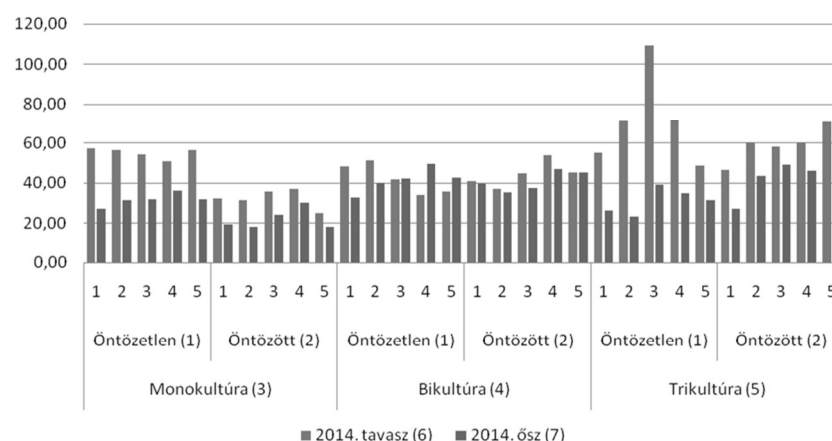


Figure 3: Activity of urease enzyme (NH_4^+ mg 100 g^{-1}) in spring and autumn 2014
Non irrigated(1), Irrigated(2), Monoculture(3), Biculture(4), Triculture(5), 2014 spring (6), 2014 autumn(7)

2014 tavaszán, amikor igen csekély mennyiségű csapadék hullott a területre (1. ábra) megállapíthatjuk, hogy az öntözetlen parcellákból vett mintákban szignifikánsan magasabb volt az ureáz enzim aktivitása, mint öntözött körülmények között. Elvégeztük a sta-

tisztikai elemzést az őszi eredményekre is, ahol nem határoztunk meg szignifikáns különbséget az öntözött és az öntözetlen kezelések között, valószínűsíthetjük, hogy a nagyobb mennyiségű csapadék miatt nem bizonyíthatjuk az öntözés hatását (4. ábra).

4. ábra: Az öntözés hatása az ureáz enzim aktivitására (NH_4^+ mg/100 g) (2014 tavasz – ősz)

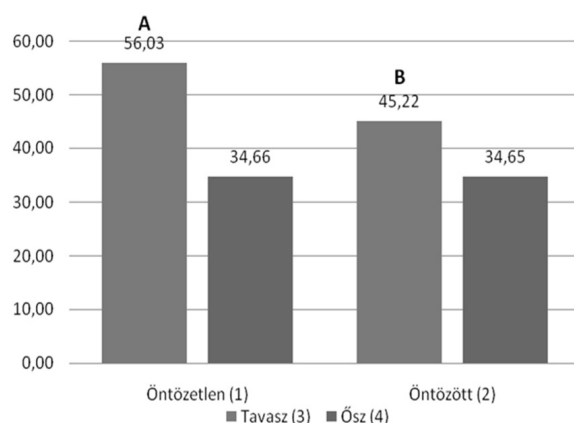


Figure 4: The effect of irrigation to the activity of urease (NH_4^+ mg 100 g^{-1}) (2014 spring – autumn)
Non irrigated(1), Irrigated(2), Spring(3), Autumn(4)

Az őszi minták értékelése során elmondhatjuk, hogy a különböző adagú trágyakezelések (1 – kontroll, 2 – kis, 3 – közepes, 4 – közepes-nagy, 5 – nagy) között statisztikailag igazolható a különbség az ureáz enzim aktivitás szempontjából, mely 28,59 és 4,59 NH_4^+ mg/100 g között változott. Azok a parcellák, amelyek nem kaptak trágyakezelést szignifikánsan alacsonyabb ureáz enzim aktivitással rendelkeztek, mint a 3-as és a 4-es számmal jelzett, trágyázott területek. A 2-es és 3-as számmal jelölt parcellák szignifikánsan alacsonyabb értékeket mutattak, mint a 4-es terület, de a 3-as parcella statisztikailag igazolhatóan nagyobb ureáz enzim aktivitással rendelkezett, mint a kontroll. A nagy trágyadózissal kezelt területen szignifikánsan nagyobb eredményeket mértünk, mint a kontroll és a 2-es parcellákon. A nagy trágyaadagot kapott (5) parcella enzimaktivitása statisztikailag nem különbözött el egyik kezeléstől sem. Így megállapíthatjuk, hogy a túlzott trágyázás nem befolyásolja pozitívan a talaj mikrobiológiai aktivitását a vizsgált területen. A tavaszi minták értékelésekor nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a különböző trágyakezelések hatására az ureáz aktivitásában, tehát a nagyobb mennyiségű csapadék és a talaj nedvességtartalom növekedésének hatására jobban érvényesült a trágyakezelés hatása (5. ábra).

Megállapítottuk, hogy a tavaszi mintavétel során a vetésváltás befolyásolta az ureáz enzim aktivitását, mely 43,54 és 63,48 NH_4^+ mg/100 g között változott. A monokultúra és a bikultúra között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget, szinte azonos eredményeket mértünk, viszont a trikultúrában mért ureáz enzim aktivitás szignifikánsan magasabb volt, mint mono- és bikultúrában (6. ábra).

Az őszi minták elemzésénél a tavaszihoz hasonlóan azt tapasztaltuk, hogy statisztikailag igazolható különbség van a vetésváltások között az ureáz enzim aktivitásban. A tavaszi mintáktól eltérően a bikultúrában tapasztaltuk a legnagyobb értékeket, melyek szignifikánsan magasabbak voltak, mint a mono- és trikultúrában, továbbá a trikultúrában szignifikánsan nagyobb eredményeket mértünk, mint monokultúrában (6. ábra).

Az eredményeink alapján megállapítottuk, hogy az öntözésnek statisztikailag igazolható hatása van az

ureáz aktivitására az őszi időszakban, a vetésváltás pedig tavasszal és ősszel is szignifikánsan befolyásolta, ezért ismét elvégeztük a statisztikai értékelést, hogy megtudjuk öntözetlen és öntözött körülmények között miként befolyásolja a vetésváltás az enzim aktivitását.

5. ábra: A trágyakezelések hatása az ureáz enzim aktivitására (NH_4^+ mg/100 g) (2014 tavasz – ősz)

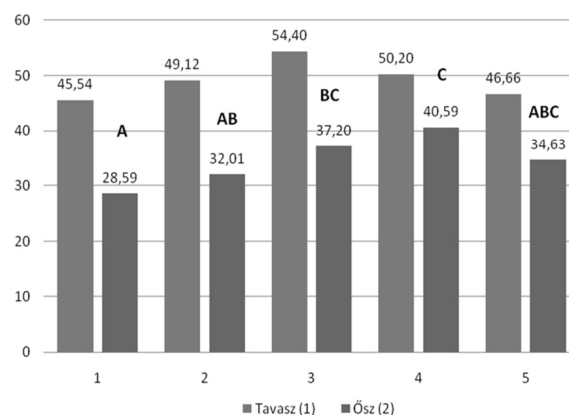


Figure 5: The effect of fertilization to the activity of urease (NH_4^+ mg 100 g^{-1}) (2014 spring – autumn)
Spring(1), Autumn(2)

6. ábra: A vetésváltás hatása az ureáz enzim aktivitására (NH_4^+ mg/100 g) (2014 tavasz – ősz)

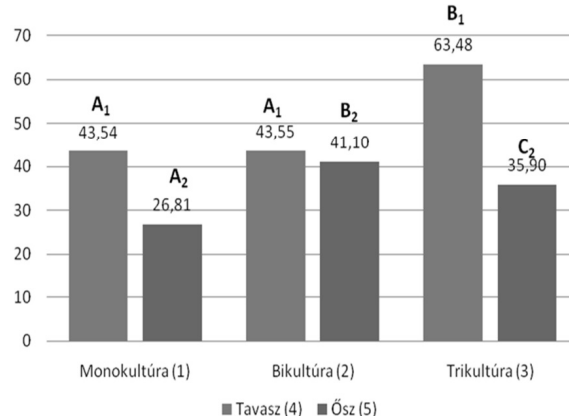


Figure 6: The effect of crop rotation to the activity of urease (NH_4^+ mg 100 g^{-1}) (2014 spring – autumn)
Monoculture(1), Biculture(2), Triculture(3), Spring(4), Autumn(5)

Öntözetlen körülmények között a tavaszi periódusban trikultúrában tapasztaltuk a legmagasabb eredményeket, amely szignifikánsan magasabb volt a bikultúrában mért értékektől. A monokultúra ureáz aktivitásának értékei nem különböztek szignifikánsan sem a bi-, sem a trikultúrától. Az őszi eredmények összehasonlításakor azt tapasztaltuk, hogy bikultúrában szignifikánsan a legmagasabbak az ureáz enzim aktivitásának értékei, amíg a mono- és a trikultúra statisztikailag nem különbözött egymástól (7. ábra).

Öntözött körülmények között, a tavaszi minták elemzésekor trikultúrában szignifikánsan magasabb volt az ureáz aktivitása, mint bikultúrában, ami szignifikánsan magasabb volt, mint a monokultúrában mért eredmények. Az őszi aspektusban a bi- és trikultúra enzim aktivitásában statisztikailag nem tapasztaltunk különbsé-

get, de szignifikánsan magasabbak voltak, mint a monokultúrában mért értékek (8. ábra).

7. ábra: Az ureáz enzim aktivitásának (NH_4^+ mg/100 g) változása a vetésváltás hatására öntözetlen körülmények között (2014 tavasz – ősz)

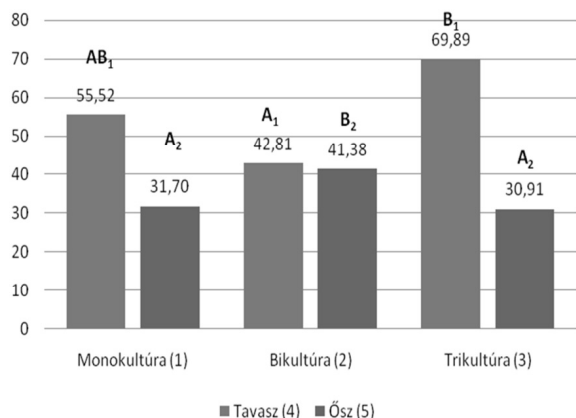


Figure 7: Effect of rotation on the activity of urease in non-irrigated conditions (NH_4^+ mg 100 g⁻¹) (2014 spring – autumn) Monoculture(1), Biculture(2), Triculture(3), Spring(4), Autumn(5)

8. ábra: Az ureáz enzim aktivitásának (NH_4^+ mg/100 g) változása a vetésváltás hatására öntözött körülmények között (2014 tavasz – ősz)

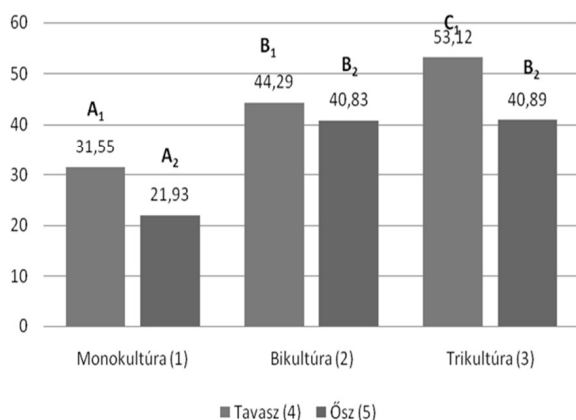


Figure 8: Effect of rotation on the activity of urease in irrigated conditions (NH_4^+ mg 100 g⁻¹) (2014 spring – autumn) Monoculture(1), Biculture(2), Triculture(3), Spring(4), Autumn(5)

Értékeljük, hogy az ureáz enzim aktivitás, milyen más tényezővel lehet kölcsönhatásban. Ezen kölcsönhatások irányát és nagyságát Pearson-féle korrelációanalízissel határoztuk meg. Vizsgálatunk során a 0,3-nál alacsonyabb korrelációt gyengének, a 0,3–0,5 közötti eredményeket közepesnek, a 0,5–0,7 közötti értékeket szorosnak, a 0,7 feletti értékeket pedig igen szorosnak tekintettük.

A tavasszal mért eredményeink azt bizonyítják, hogy a nedvességtartalom közepes pozitív kapcsolatban van az ureáz-enzim aktivitással. A korreláció értéke 0,445 volt. Szinte mindegyik vetésváltásnál, öntözött és öntözetlen körülmények között is ott mértük a legmagasabb ureáz enzim aktivitást, ahol a nedvesség-

tartalom is a legmagasabb volt, valamint megállapíthatjuk, hogy a két összehasonlított paraméter tendenciájában is nagyon hasonló eredményeket mutatott (2–3. ábra).

KÖVETKEZTETÉSEK

Eredményeink alapján megállapítható, hogy a tavaszi mintavétel során szignifikáns különbséget tapasztaltunk az ureáz enzim aktivitásában a vetésváltások között, trikultúrában kaptuk a legmagasabb eredményt, míg monokultúrában a legalacsonyabbat.

Statisztikailag igazolható különbségeket kaptunk az öntözött és öntözetlen területek összehasonlításakor is, öntözetlen körülmények között voltak magasabbak az értékek. Mind az öntözött és mind öntözetlen parcellákat figyelembe véve, trikultúrában szignifikánsan magasabb volt az ureáz enzim aktivitása, mint bikultúrában, öntözött körülmények között a monokultúra is szignifikánsan alacsonyabb értékekkel rendelkezett, mint a trikultúra.

Megvizsgáltuk, hogy mely másik tényezővel lehet kapcsolatban az ureáz enzim aktivitás és közepes pozitív korrelációt kaptunk a talaj nedvességtartalmával. A tavaszi minták értékelése során, amikor számottevő csapadék nem hullott a területre a mintavételt megelőző hónapokban, a talaj nedvességtartalmának és az öntözésnek befolyásoló szerepe volt az ureáz enzim aktivitására. Az őszi minták elemzésekor nem bizonyítottunk összefüggést a vizsgált paraméterek között.

Az őszi mintavétel során, a tavaszihoz hasonlóan szignifikáns különbségeket tudunk kimutatni a vetésváltásnak az ureáz aktivitásra gyakorolt hatásában. Bikultúrában tapasztaltuk a legmagasabb eredményeket és monokultúrában a legalacsonyabbakat.

Statisztikailag igazolható hatása volt a különböző trágyadózisoknak is az ureáz enzim aktivitására. A N₁₂₀ P₉₀ K₉₀ trágyadózis hatására szignifikánsan magasabb eredményeket kaptunk, mint a kontroll talajában mért értékek, a N₁₈₀ P₁₃₅ K₁₃₅-vel történő kezelés hatására az ureáz enzim aktivitása szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll és kis dózissal kezelt parcellákon.

A N₂₄₀ P₁₈₀ K₁₈₀, tehát a legnagyobb trágyaadaggal kezelt parcellák értékei nem különböztek szignifikánsan a többi kezeléstől. Megállapíthatjuk, hogy a túlzott trágyázás nem hat pozitívan a talaj ureáz enzim aktivitására.

Öntözetlen körülmények között bikultúrában szignifikánsan magasabbak voltak az ureáz enzim aktivitásának értékei, mint mono- és trikultúrában. Az öntözött parcellákban a bi- és trikultúra statisztikailag nem különbözött egymástól, de szignifikánsan magasabb enzim aktivitással rendelkeztek, mint a monokultúra.

A két évszak összehasonlításakor arra a következtetésre jutottunk, hogy általában tavasszal magasabb az ureáz enzim aktivitása és a talaj nedvességtartalmának sokkal nagyobb hatása volt tavasszal, amikor nagyon kevés csapadék hullott a kísérleti területre. Összel, amikor bőséges volt a talaj nedvességtartalma, megmutatkozott a trágyakezelések hatása is a talaj mikrobiológiai tevékenységében.

IRODALOM

- Berényi S.–Berátné Sz. E.–Pepó P.–Loch J. (2009): A trágyázás és öntözés tartamhatása a 0.01 M kalcium-kloridban oldható N-frakcióra alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 58: 251–264.
- Baldrian, P. (2014): Distribution of Extracellular Enzymes in Soils: Spatial Heterogeneity and Determining Factors at Various Scales. 11th Dahlia Greidinger Memorial Symposium: Advanced Methods for Investigating Nutrient Dynamics in Soils and Ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*. 11–18.
- Burns, R. G.–Dick, R. P. (2002): *Enzymes in the environment*. Marcel Dekker. New York.
- Dao, T. H. (2014): Landscape-scale geographic variations in microbial biomass and enzyme-labile phosphorus in manure-amended Hapludults. *Biology and Fertility of Soils*. 50: 155–167.
- De Muynck, W.–De Belie, N.–Verstraete, W. (2010): Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review. *Ecol. Eng.* 36, 2: 118–136.
- Fierer, N.–Jackson, R. B. (2006): The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103: 626–631.
- Filep Gy. (1999): A talaj levegő- és hőgazdálkodása. [In: Stefanovits P. et al. *Talajtan*.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 182–190.
- Huzsvai L.–Nagy J. (2003): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Növénytermelés*. 52. 5: 533–541.
- Iványi K.–Kismányoky T.–Ragasits I. (2003): A növények vízgazdálkodása. *Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó*. Budapest. 19–28.
- Jackson, L. E.–Bowles, T. M.–Hodson, A. K.–Lazcano, C. (2012): Soil microbial-root and microbial rhizosphere processes to increase nitrogen availability and retention in agroecosystems. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4: 517–522.
- Kádár I. (2005): Búcsú a műtrágyáktól. *Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: A modern növénytermesztés alapjai*. Debrecen. 128–134.
- Kádár I. (2010): Fenntartható növénytermesztés, talajpusztulás, társadalmi stabilitás. *Termesztési tényezők a fenntartható növénytermesztésben*. Debrecen. 85–93.
- Kallenbach, C.–Grandy, A. S. (2011): Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 14: 241–252.
- Kátai J. (1999): Talajmikrobiológiai jellemzők változása trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 3–4: 348–360.
- Kátai J. (2005): A műtrágyázás és az öntözés hatása a talaj tulajdonságaira egy kukorica monokultúrában. *Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: A modern növénytermesztés alapjai*. Debrecen. 56–65.
- Kátai, J. (2006): Changes in Soil Characteristics in a Mono- and Triculture Long-term Field Experiment. *Agrokémia és Talajtan*. 55: 183–192.
- Kempers, A. J. (1974): Determination of sub-microquantities of ammonium and nitrates in soils with phenol, sodiumnitroprusside and hypochlorite. *Geoderma*. 12. 3: 201–206.
- Kismányoky T. (2010): Elővetemény és tápanyaghatások különböző talajtípusokon. *Termesztési tényezők a fenntartható növénytermesztésben*. Debrecen. 103–111.
- Klimes-Szmink A. (1962): A talajok fizikai tulajdonságainak vizsgálata. [In: Ballenegger R.–Di Gléria J. (szerk.) *Talaj- és trágyavizsgáló módszerek*.] Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 83–161.
- Lauber, C. L.–Strickland, M. S.–Bradford, M. A.–Fierer, N. (2008): The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 2407–2415.
- Linn, D. M.–Doran, J. W. (1984): Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*. 48: 1267–1272.
- Márton, L. (2005): Effect of mineral fertilization and rainfall on the yield of maize (*Zea mays* L.). *Agrokémia és Talajtan*. 54. 3–4: 309–324.
- Millard, P.–Singh, B. K. (2010): Does grassland vegetation drive soil microbial diversity? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 88: 147–158.
- Németh T. (2005): Földhasználat a korszakváltó hazai mezőgazdaságban. *Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: A modern növénytermesztés alapjai*. Debrecen. 29–36.
- Németh T.–Buzás I. (1991): Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok és mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 399–408.
- Page, A. L. (1982): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *Methods of soil analysis*. Agronomy. Madison. Wisconsin. USA. 915–922.
- Pepó P. (2010): A növénytermesztés aktuális kérdései. V. Növénytermesztési Tudományos Nap. *Gazdálkodás – klímaváltozás – társadalom*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 17–21.
- Ruamps, L. S.–Nunan, N.–Chenu, C. (2011): Microbial biogeography at the soil pore scale. *Soil Biology and Biochemistry*. 43: 280–286.
- Ruzsányi L. (1992): A N-műtrágyázás hatása a termésre és a talajszelvény nitrátosodására. *Növénytermelés*. 41. 6: 497–510.
- Sárvári M. (1995): A kukoricahibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. *Növénytermelés*. 44. 2: 184–190.
- Sárvári M. (2000): Fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiák Fejlesztése. *Növény- és talajtudomány a mezőgazdaságban – Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai*. Debrecen. 163–175.
- Sárvári M.–El-Halof N.–Molnár Zs. (2006): A kukorica termesztése. *Östermelő*. 2: 60–62.
- Steenwerth, K. L.–Jackson, L. E.–Carlisle, E. A.–Scow, K. M. (2006): Microbial communities of a native perennial bunchgrass do not respond consistently across a gradient of land-use intensification. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 1797–1811.
- Wallenstein, M. D.–Weintraub, M. N. (2008): Emerging tools for measuring and modeling the in situ activity of soil extracellular enzymes. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 2098–2106.
- Wu, Y.–Ding, N.–Wang, G.–Xu, J.–Wu, J.–Brookes, P. C. (2009): Effects of different soil weights, storage times and extraction methods on soil phospholipid fatty acid analyses. *Geoderma*. 150: 11–178.